

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Návrh a realizace automatizovaného měřicího systému
pro stárnutí optických vláken**

**Design and Realization of Automated Measuring System
for Fibers Ageing**

2014

Dávid Poništ

Zadání bakalářské práce

Student: **Dávid Poništ**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Návrh a realizace automatizovaného měřicího systému pro stárnutí optických vláken**
Design and Realization of Automated Measuring System for Fibers Ageing

Zásady pro vypracování:

1. Návrh a popis automatizovaného měřicího systému
2. Popis typů sběrnic používaných v měřicích přístrojích THORLABS
3. Návrh měřicího systému pro měření stárnutí optických prvků se sběrem dat
4. Experimentální ověření navrženého systému

Seznam doporučené odborné literatury:


EL ABDI, R. a M. POULAIN. Changes in mechanical behaviour of optical fibers aged in surfactant solutions. Optics and Lasers in Engineering. 2012, roč. 50, č. 9, s. 1217-1222. ISSN 01438166. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2012.03.019. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143816612001042>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Pápeš**


Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry



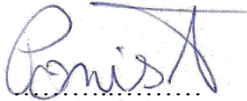


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky
pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 7. 5. 2014



podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval pánovi Ing. Martinovi Pápešovi za odbornú pomoc a konzultáciu pri vytváraní tejto bakalárskej práce.

Abstrakt

Hlavnou náplňou tejto bakalárskej práce je zautomatizovať meracie pracovisko, na ktorom by bolo možné simulovať starnutie optického vlákna. Automatizácia je pri tomto druhu merania zvlášť dôležitá, keďže starnutie optických vlákien je proces dlhodobý. Okrem iných výhod, ktoré samotná automatizácia prináša, je jej hlavný prínos v tom, že nutnosť prítomnosti obsluhy už nie je potrebná. V práci je navrhnutý potrebný merací systém a jeho následná automatizácia, ktorej najpodstatnejšou zložkou je riadiaci softvér pre zber nameraných dát. Softvér bol realizovaný pomocou integrovaného prostredia MATLAB a komunikácia s meracím systémom prebieha prostredníctvom štandardu RS-232. Funkčnosť softvéru bola následne overená na experimentálnom meraní.

Kľúčové slová

automatizácia; optické vlákna; výroba; starnutie; GUI; MATLAB; GUIDE; optický výkon; merač optického výkonu; Thorlabs; RS-232; RS-485; GPIB; USB; EDFA; Thorlabs PM100

Abstract

The main goal of the bachelor thesis is automating of measuring system which is used to simulate ageing of optical fibers. Automation is especially important for this kind of measurement since the process of fibers ageing is very long lasting. Besides other advantages, the main benefit of automation is no additional necessity for operation. There is designed an eligible measuring system in the thesis following with its automation. The most important part of the system is the control software for acquisition of measured data. The software was realized by integrating of interactive environment MATLAB and communication with measurement system is done through the RS-232 standard. The utility of the software was subsequently tested by experimental measurement.

Key words

automation; optical fiber; manufacturing; ageing; GUI; MATLAB; GUIDE; optical power meter; optical power; Thorlabs; RS-232; RS-485; GPIB; USB; EDFA; Thorlabs PM100

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
DCE	Data Communication Equipment
DTE	Data Terminal Equipment
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier
GPIB	General Purpose Interface Bus
GUI	Graphical User Interface
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment
IEC	International Electrotechnical Commission
MCVD	Modified Chemical Vapour Deposition
OVD	Outside Vapour Deposition
PCVD	Plasma Chemical Vapour Deposition
USB	Universal Serial Bus
VAD	Vapour Phase Axial Deposition

Obsah

Úvod.....	- 10 -
1 Starnutie optických vlákien.....	- 11 -
1.1 Výroba optických vlákien	- 11 -
1.1.1 Technológia OVD	- 11 -
1.1.2 Technológia VAD	- 12 -
1.1.3 Technológia MCVD	- 12 -
1.1.4 Technológia PCVD	- 13 -
1.2 Vplyvy starnutia vlákien	- 13 -
1.3 Meranie starnutia vlákien	- 14 -
1.3.1 Meranie optického výkonu	- 14 -
1.3.2 Meranie útlmu	- 14 -
2 Merací systém	- 15 -
2.1 Optický zosilňovač EDFA	- 15 -
2.1.1 Laserová pumpa	- 16 -
2.1.2 Dopované vlákno.....	- 17 -
2.1.3 WDM členy	- 17 -
2.1.4 Optické izolátory	- 17 -
2.1.5 Riadiace prístroje zosilňovača	- 17 -
2.2 Zdroj optického signálu.....	- 18 -
2.3 Merač optického výkonu	- 19 -
3 Automatizácia meracieho systému.....	- 20 -
3.1 Návrh.....	- 20 -
3.2 Merací prístroj	- 21 -
3.2.1 Komunikačné rozhranie prístroja	- 21 -
3.2.2 Null modem a USB na RS232 prevodník.....	- 22 -
3.3 Komunikačné rozhrania prístrojov Thorlabs.....	- 23 -
3.3.1 Rozhranie RS-232	- 23 -
3.3.2 Ostatné rozhrania prístrojov Thorlabs	- 28 -
3.4 Riadiaci softvér	- 35 -

3.5	Schéma zautomatizovaného meracieho systému.....	- 35 -
4	Realizácia softvéru pre zber dát	- 36 -
4.1	MATLAB	- 36 -
4.1.1	Sériová komunikácia	- 36 -
4.1.2	GUIDE.....	- 37 -
4.2	Popis programu	- 38 -
4.2.1	Verzie programu.....	- 38 -
4.2.2	Inicializácia	- 39 -
4.2.3	Nastavenie	- 40 -
4.2.4	Ovládanie.....	- 40 -
4.2.5	Aktuálne dáta.....	- 41 -
4.2.6	Export	- 41 -
5	Experimentálne overenie navrhnutého systému.....	- 43 -
5.1	Použité prístroje.....	- 43 -
5.2	Úprava pracoviska.....	- 43 -
	Záver	- 45 -
	Použitá literatúra	- 46 -
	Prílohy.....	xlvi

Úvod

Optické komunikačné systémy a prenos signálu po sklenených vláknach si vybudovali pevné miesto pri nasadzovaní nových telekomunikačných trás. Výhodné vlastnosti optických vlákien vychádzajúce z ich podstaty, ich predurčujú pre perspektívne aplikácie, sú to predovšetkým veľká kapacita a šírka prenosových pásiem, veľká prenosová rýchlosť, nízka výkonová úroveň, odolnosť voči elektromagnetickému rušeniu, veľká spoľahlivosť, miniaturizácia rozmerov a hmotnosti, úspora medi a pod. Svojím rozmachom sa posúvajú stále bližšie ku koncovému užívateľovi, keď už aj v tejto sfére nahrádzajú metalické vodiče, ktoré sa v dnešných podobách dostávajú na hranicu svojich možností.

Podstata optického prenosu tkvie v šírení svetla svetlovodom – optickým vláknom, ktoré je najvhodnejším prostredím pre jeho prenos. Činnosť optického vlákna je založená na totálnom odraze dvoch optických prostredí s rozdielnym indexom lomu jadra a plášťa.

Výroba optických vlákien preto vychádza z predpokladu dvoch rôznych materiálov (jadro, plášť) s minimálnym útlmom pre pracovnú vlnovú dĺžku. Základný materiál je oxid kremičitý SiO_2 a jeho prímеси tzv. dopanty GeO_2 , P_2O_5 , GeO_2 , B_2O_2 . Koncentráciou týchto prímesí je možno ovplyvniť veľkosť a priebeh indexu lomu, a tým určiť prenosové vlastnosti.

Vzhľadom na to, že proces výroby je náročný, je možné do vlákna vnieť rôzne defekty. Vplyvom niektorých faktorov sa tieto poruchy materiálu časom zväčšujú, čo má za následok zhoršenie prenosových parametrov vlákna, ide predovšetkým o zvýšený útlm. Procesy výroby popisuje prvá kapitola.

Hlavnou náplňou práce je zautomatizovať meracie pracovisko, na ktorom sa vykonáva určité namáhanie – simulácia starnutia. Pre potreby automatizácie bolo v práci navrhnuté pracovisko namáhania optického vlákna veľkým optickým výkonom. V druhej kapitole je popísaný návrh takéhoto pracoviska a popis jednotlivých prístrojov. Hlavnou časťou navrhnutého meracieho systému je zosilňovač EDFA, ktorým je optický signál zosilňovaný a následne vháňaný do testovacieho vlákna. Pomocou prístroja na meranie optického výkonu je možné sledovať prejavujúci sa útlm vlákna.

Starnutie a degradácia optických vlákien je dlhodobý proces a vzhľadom na to, že prítomnosť obsluhy by bola neefektívna, až nemožná, je potrebná automatizácia merania. V tretej kapitole popisuje návrh automatizácie a možnú realizáciu využitím rozhrania RS-232, ktorým je merací prístroj vybavený a programu MATLAB. V tejto kapitole sú rovnako popísané aj druhy zberníc používané v meracích prístrojoch Thorlabs, zvláštna pozornosť je venovaná využitej zbernici RS-232.

V štvrtej kapitole je popísaný realizovaný softvér pre zber dát z meracieho systému, zo zápisom do PC. Sú tu uvedené použité nástroje pri realizácii softvéru, ich odôvodnenie použitia a následne popis vytvoreného softvéru a jeho vlastností.

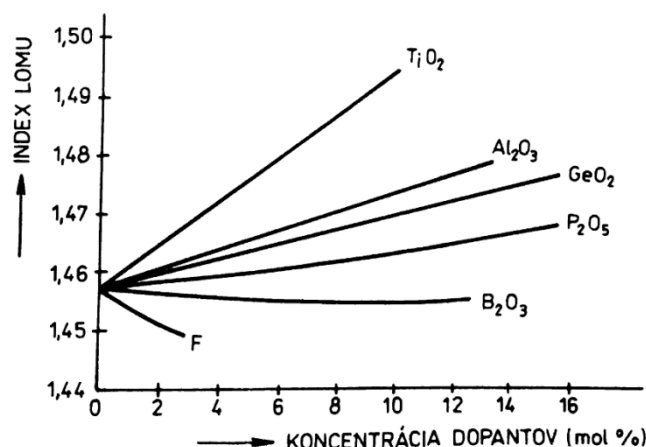
V poslednej kapitole zahrňuje experimentálne overenie zrealizovaného softvéru pre zber dát na zostavenom pracovisku s ukázkami exportu týchto dát.

1 Starnutie optických vlákien

1.1 Výroba optických vlákien

Moderný proces výroby optických vlákien je založená na ťahaní vlákna z preformy, ktorej povrchové vrstvy sú dopované rôznymi oxidmi. Preforma je sklenený polotovár, ktorého profil predstavuje zväčšený profil optického vlákna. Príprava preformy je najdôležitejší proces pri výrobe optických vlákien, jej zloženie, technológia výroby udáva budúce vlastnosti optického vlákna. Príprava preformy je založená na oxidácii chloridu kremičitého a ďalších podobných oxidačných reakcií.

Základný materiál pri výrobe je čistý kremeň, SiO_2 . Pre zmenu indexu lomu sa používajú rôzne prímеси, tzv. dopanty. Obrázok 1.1 zobrazuje vplyv týchto prímесí na zmenu indexu lomu kremenného skla.

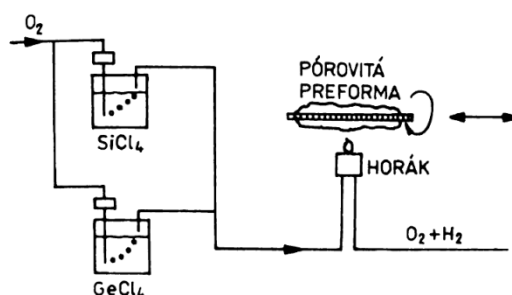


Obrázok 1.1: Vplyv dopantov na index lomu kremenného skla [2]

V nasledujúcich podkapitolách sú popísané jednotlivé technológie výroby, chemické látky v nich používané a nedostatky technológií, umožňujúce spôsobovať vo vlákne rôzne nehomogenity.

1.1.1 Technológia OVD

Pri tejto metóde (obrázok 1.2) sa využíva bočná depozícia na jadro, ktoré je obyčajne vyrobené z Al_2O_3 alebo z grafitu. Podobne ako pri ostatných metódach kyslík prechádza chloridom kremičitým a viaže ho na seba, čím vzniká SiCl_4 a toto palivo je privádzané do horáka. Spaľovaním vznikajú sadze oxidu kremičitého, ktoré sa usadzujú na jadre a vzniká pórovitá hmota, ktorá má hustotu 15 až 30% kremenného skla. Takto sú na nosnú tyčku nadopované vrstvy tvoriace po samotnom tiahnutí vlákna jadro aj plášť. Po nanosení vrstiev sa nosná tyč vytiahne a pórovitá preforma sa spečie na číru sklovitú preformu.

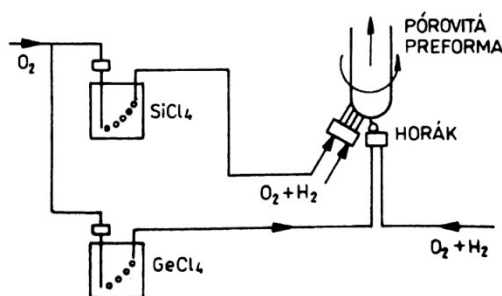


Obrázok 1.2: Schéma výrobného procesu OVD [2]

Do horáka je okrem SiCl_4 privádzaný aj vyhrievací plyn $\text{O}_2 + \text{H}_2$, ktorým sa však tvoria OH skupiny, ktoré majú negatívny vplyv na útlm. Tie sa však pri spekaní pomerne efektívne vytlačia prechodom He a Cl_2 . Táto metóda si kladie veľké nároky na čistoty okolia, vzhľadom na to, že je využívaný vonkajší ohrev. Taktiež behom spekávania dochádza k chemickej reakcii medzi sušiacim plynom a dopantami, ktorá vedie k zmene indexu lomu. Tento problém je potrebné riešiť už pri návrhu dopantov.

1.1.2 Technológia VAD

Pri tejto metóde (obrázok 1.3) dochádza k axiálnemu nárastu pórovitej performy, čím vzniká valec bez stredného otvoru. Zapekanie sa uskutočňuje v elektrickej peci pri 1500°C za pomoci $\text{He} - \text{CO}_2$ alebo $\text{He} - \text{SiCl}_2$ atmosféry, v ktorej sa zbavuje vody. Behom zapekania sa objem preformy znižuje a potom je vložená do kremennej rúrky, kde je rúrka zmrštená.

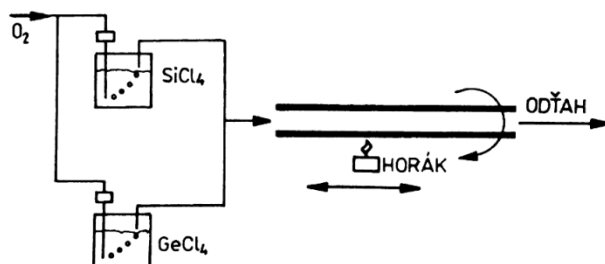


Obrázok 1.3: Schéma výrobného procesu VAD [2]

1.1.3 Technológia MCVD

Na rozdiel od predchádzajúcich dvoch technológií, pri tejto metóde (obrázok 1.4) sa nenanášajú dopanty zvonku horákom, ale sú vháňané do rúrky. Používajú sa zmesi plynov SiCl_4 , GeCl_4 , PCl_3 . Zmes plynov neobsahuje vodík, preto nie je potrebné vysušovanie pre odstránenie OH skupín. Horák sa za súčasného otáčania rúrky pohybuje po jej osi. Týmto procesom je možné naniesť veľa tenkých vrstiev SiO_2 , čím je možné proces využiť pri výrobe

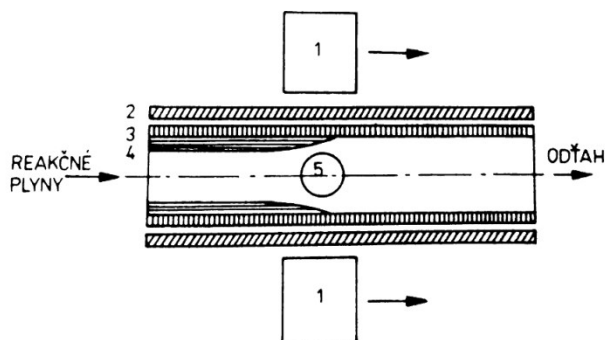
gradientného vlákna. Nanášaním sa postupne vytvorí plášť a jadro budúceho vlákna. V ďalšom kroku sa rúrka zahreje na 2000°C a zmraší na tyč – preformu.



Obrázok 1.4: Schéma výrobného procesu MCVD [2]

1.1.4 Technológia PCVD

Pri tejto technológii (obrázok 1.5), rovnako ako v predchádzajúcej sa reakcie odohrávajú vo vnútri rúrky. Zmesi plynov privádzaných do rúrky sú ionizované pomocou mikrovlnného rezonátora o frekvencii 2,45GHz. Tento generátor vytvára vo vnútri mikrovlnnú plazmu, v ktorej dochádza k heterogénnej reakcii na stenách rúrky bez tvorby usadenín. Depozičná účinnosť pri SiO_2 je takmer 100% a pri GeO_2 približne 85%. Vzhľadom na to, že plazmový plameň sa pohybuje rýchlo, je technológia vhodná pre tvorbu gradientných vlákien.



Obrázok 1.5: Schéma výrobného procesu PCVD, 1 – mikrovlnný rezonátor, 2 – stacionárna pec, 3 – kremenná rúrka, 4 – sklená vrstva, 5 - plazma [2]

Podkapitola spracovaná podľa [1], [2].

1.2 Vplyvy starnutia vlákien

Zo zložitosti výrobných procesov vyplýva množstvo inovácií v technológiách, ktorými musela výroba prejsť. Išlo predovšetkým o zaistenie nízkych koncentrácií iónov OH a iónov kovov a obmedzenie strát spôsobených lomom lúčov šíriacich sa na rozhraní jadro – plášť, pri ktorom uniká časť energie z jadra von. Taktiež, snaha o zníženie množstva strát rozptylom, spôsobené tým, že molekuly v amorfnom materiáli tvoria vlastne mikronehomogenity indexu lomu materiálu.

K vyššie uvedeným sa tiež radí snaha, o čo najmenšie poruchy dokonalej geometrie, porušenie tvarov a rozmerom hranice jadro – plášť, trhlinky v materiáli jadra a pod.

Tieto defekty sa vplyvom niektorých faktorov časom zväčšujú. Najviac narúšajú štruktúru skla ohyby a vlhkosť.

Svetová organizácia IEC vypracovávajúca medzinárodné normy pre elektroniku, elektrotechniku a príbuzné obory, publikuje normy týkajúce sa aj optických vlákien, konkrétne ide o normy ICE 60793-1.

Najčastejšie sa optické vlákna pri testoch namáhajú faktormi, ktoré ich najviac znehodnocujú. Ide predovšetkým o metódy [13]:

- Vlhké teplo – +85°C pri 85% vlhkosti
- Suché teplo – +85°C
- Zmena teplôt – v rozmedzí -60°C a +85°C
- Ponorenie – do vody pri izbovej teplote +23°C

Hlavnou podstatou práce je zautomatizovať meracie pracovisko, na ktorom sa vykonáva určité namáhanie. Zaťažovať materiál ide okrem vyššie popísaným aj ďalšími spôsobmi, v práci bude únavu materiálu spôsobovať veľký optický výkon. Toto meracie pracovisko bude následne zautomatizované.

Časť meracieho pracoviska, na ktorom sa optické vlákno zaťažuje výkonom je flexibilná a dá sa vymeniť za iné namáhanie. Pri týchto meraniach by sme rovnako zaznamenávali optický výkon a následný útlm.

1.3 Meranie starnutia vlákien

1.3.1 Meranie optického výkonu

Meranie optického výkonu patrí medzi najzákladnejšie meranie v oblasti optických komunikácií. Takéto meranie sa vykonáva premenou svetelného lúča, ktorý vystupuje z optického vlákna na elektrický signál pomocou optickoelektrického konvertora [1].

1.3.2 Meranie útlmu

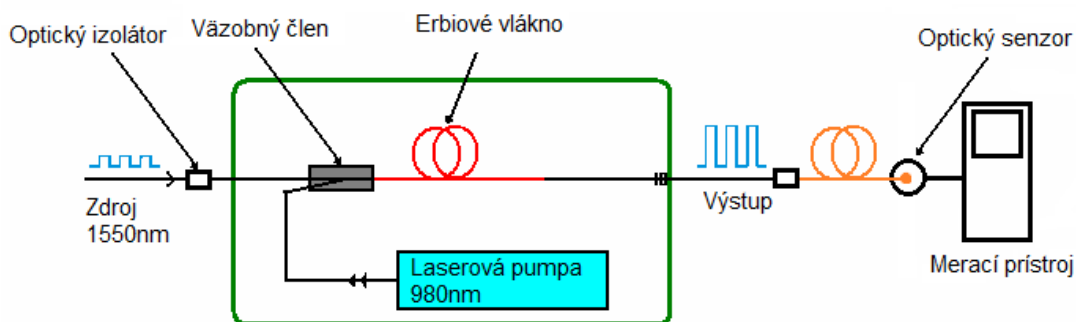
Útlm predstavuje základný a najdôležitejší prenosový parameter a je celkovým meradlom strát optického výkonu šíriaceho sa optického signálu vláknom. Útlm optického vlákna určíme podľa vzťahu:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} (dB)$$

kde P_1 a P_2 sú optické výkony (W) pri vlnovej dĺžke (λ). Meranie útlmu sa vykonáva pri diskretnej vlnovej dĺžke.

2 Merací systém

Pre možnosť merania starnutia optických vlákien vplyvom veľkého výkonu bolo navrhnuté pracovisko. Princíp činnosti systému spočíva v zosilnení vstupného signálu zosilňovačom EDFA a vŕhnutie tohto signálu do vlákna a sledovanie poklesu výkonu. V prvej podkapitole je vysvetlený princíp zosilňovača EDFA, ktorý tvorí základ systému. V ďalších podkapitolách sú popísané jednotlivé zariadenia systému.



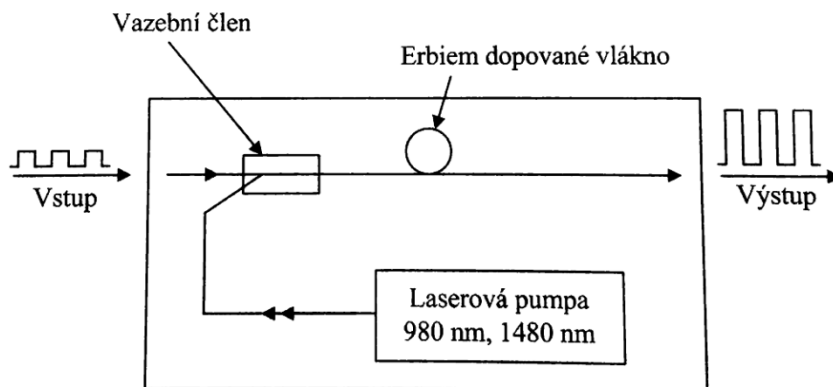
Obrázok 2.1: Schéma meracieho systému pred automatizáciou

Namáhanie optických vlákien môžeme dosiahnuť rôznymi spôsobmi, nasledujúci systém (obrázok 2.1) je použitý ako predmet na zautomatizovanie. Čo je podstatou tejto práce – zautomatizovať merací systém. Po zautomatizovaní je systém modulárny a je možné jeho časti nahrádzať inými spôsobmi namáhania.

2.1 Optický zosilňovač EDFA

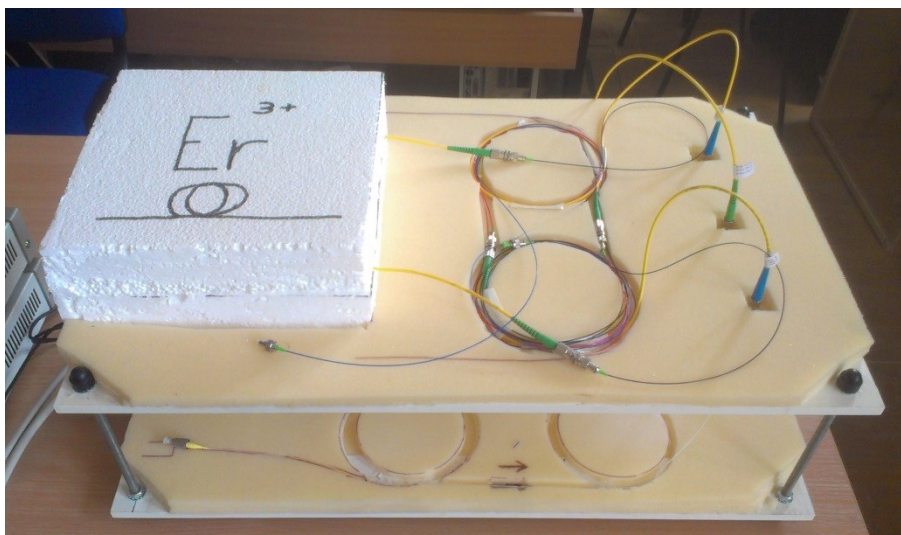
Erbium dopovaný vlákňový zosilňovač je dôležitý prvok v optických komunikačných systémoch. Umožňuje obnovenie svetelného toku vo vlákne bez potreby premeny signálu na elektrický. Tieto optovláknové zosilňovače umožňujú zosilnenie signálu až o 50dB. Čo je najviac spomedzi všetkých optických zosilňovačov.

Základ zosilňovača EDFA, zobrazeného na obrázku 2.2 tvorí laserová pumpa a optické vlákno dopované prvkami erbia. Naviazaním žiarenia z čerpacej laserovej pumpy do tohto dopovaného vlákna, ktoré je dlhé niekoľko metrov, dochádza k excitácii atómov dopovaného prvku – erbia na vyššie energetické hladiny. Ak privedieme do excitovaného aktívneho prostredia prenášaný signál, jeho energia spôsobí stimulovanú emisiu žiarenia o rovnakej fáze a vlnovej dĺžke s prenášaným signálom.



Obrázok 2.2: Princíp optického zosilňovača EDFA

Pri návrhu meracieho systému bol využitý zosilňovač EDFA vzniknutý v rámci jednej z minuloročných diplomových prác. Použitý zosilňovač je vyobrazený na obrázku 2.3.



Obrázok 2.3: Zosilňovač EDFA

2.1.1 Laserová pumpa

Laserová pumpa je jedna zo základných častí zosilňovača EDFA, stará sa o dodávanie optickej energie do dopovaného vlákna. Na laserovú pumpu sa kladú veľké nároky na stabilizáciu teploty, vzhľadom na to, že dopované vlákno absorbuje energiu len na špecifikovanej vlnovej dĺžke určenej pri výrobe dopantami. Navrhnutý systém používa laserovú pumpu Pireli, pumpu osadenú v module Thorlabs LM14S2 zobrazuje obrázok 2.4.



Obrázok 2.4: *Laserová pumpa Pireli, osadená v module Thorlabs LM14S2*

2.1.2 Dopované vlákno

Druhou základnou časťou, vzhľadom na typ použitého zosilňovača je erbiové vlákno. Iné druhy podovaných vlákien sú obohatené o prazeodým pri zosilňovači PDFA, túlium vo fluoridovom vlákne pri zosilňovači TDFA, yterbium v prípade YDFA. Nasadzovanie závisí na pásme trasy, taktiež sa líšia vo veľkosti zosilnenia.

2.1.3 WDM členy

Vlnovo selektívny väzbový člen združuje žiarenie pre čerpanie a pre žiarenie zo signálneho vlákna, zatiaľ čo druhý člen, za vláknom, neabsorbované žiarenie vyvádza.

2.1.4 Optické izolátory

Optický izolátor je optovláknová súčiastka, ktorá prepúšťa žiarenie len jedným smerom.

2.1.5 Riadiace prístroje zosilňovača

Pre ovládanie laserovej pumpy sú použité prístroje Thorlabs. Thorlabs LDC 205 C slúži pre riadenie elektrických súčastí pumpy a Thorlabs TED 200 C pre nastavovanie teploty. Oba prístroje sú napojené na modul s pumpou.

2.1.5.1 Ovládanie laserovej diódy

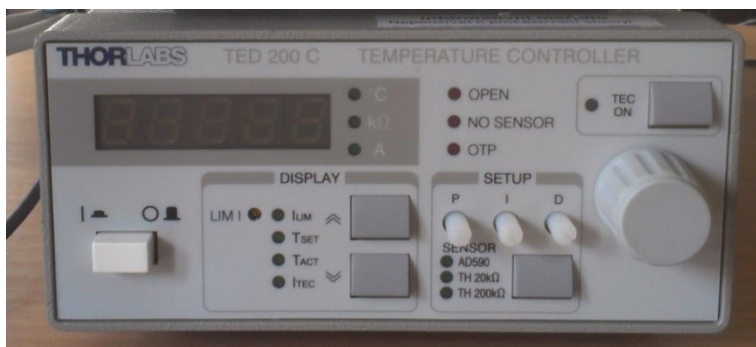
Na reguláciu pumpy zosilňovača bol použitý regulátor Thorlabs LCD 205 C, zobrazený na obrázku 2.5.



Obrázok 2.5: Riadiaca jednotka pumpy Thorlabs LCD 205 C

2.1.5.2 Teplotný stabilizátor

Pre neskresľujúce výsledky je potrebné mať pripojený teplotný stabilizátor (obrázok 2.6). Bez jeho pripojenia by aj po niekoľkých sekundách dochádzalo k výkyvom výkonu, keďže laserová pumpa je silno teplotne závislá.



Obrázok 2.6: Ovládanie teploty zosilňovača Thorlabs TED 200 C

2.2 Zdroj optického signálu

Ako zdroj optického žiarenia je použitý prístroj od firmy EXFO FLS-2100 (obrázok 2.7).



Obrázok 2.7: Zdroj optického signálu, EXFO FLS-2100

2.3 Merač optického výkonu

Digitálny prístroj Thorlabs PM100 (obrázok 2.8), ku ktorému sa pripája detektor žiarenia slúži na meranie optického výkonu. Za pomoci tohto prístroja bude v nasledujúcej kapitole popísaná automatizácia tohto meracieho systému. Podrobnosti o prístroji sú popísané v kapitole 3.2.



Obrázok 2.8: *Merací prístroj Thorlabs PM100*

3 Automatizácia meracieho systému

Meracie prístroje, ktoré nie sú vybavené komunikačným rozhraním majú svoju funkciu pevne danú výrobcom. Spôsob preberania nameraných hodnôt je len prosté odčítanie dát z obrazovky prístroja, čo je pri mnohých meraniach neefektívne a častým zdrojom chýb.

Proces merania je možno rozdeliť do dvoch fáz. V prvej fáze dochádza ku konfigurácii prístroja používateľom, posielanie informácii smerom od užívateľa k prístroju. V druhej fáze je to už samotné vyčítanie nameraných hodnôt, posielanie informácii smerom z prístroja k užívateľovi. V prípade, že merací prístroj disponuje komunikačným rozhraním, možno používateľa nahradiť počítačom, čím môžeme meranie zautomatizovať [1].

Pri úlohách kde je potrebné meranie často opakovať, zaznamenávať veľké množstvo dát, nutnosť vzdialenej obsluhy, a pod. sa využíva automatizácia takéhoto merania. Automatizovaný merací systém so sebou prináša nielen lepšie využitie funkcií a parametrov meracieho prístroja, v podobe vyššej rýchlosti, synchronnosti a presnosti merania, ale aj výhody v okamžitom spracovaní výsledkov, vyšší komfort a hlavne menšiu pravdepodobnosť subjektívnych chýb.

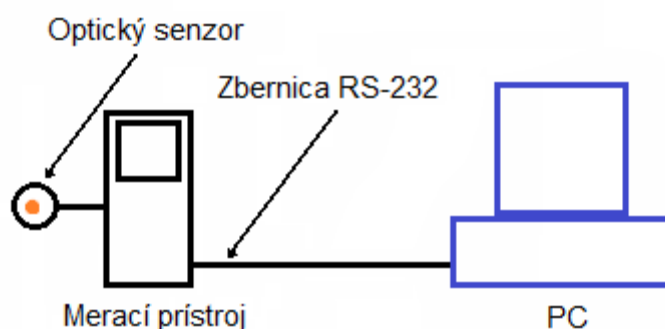
Automatizácia je v takýchto prípadoch zvlášť potrebná, keďže meranie, samotný zber dát tu prebieha dlhodobo.

3.1 Návrh

V tejto práci sa automatizácia merania využíva z dôvodu pravidelného zaznamenávania hodnoty z meracieho prístroja, vzhľadom na to, že starnutie optických vlákien je dlhodobých proces a manuálna práca by bola neefektívna až nemožná.

Návrh štruktúry automatizácie je možno rozdeliť na tri časti (obrázok 3.1):

- Merací prístroj
- Komunikačné rozhranie
- Riadiaci program



Obrázok 3.1: Schéma časti meracieho systému pre zautomatizovanie

3.2 Merací prístroj

Thorlabs PM systém je flexibilný systém pre meranie optického výkonu, ktorý môže byť pre ďalšie potreby ďalej rozšírený. Základ systému je merací prístroj – konzola, ktorú tvorí LCD panel a klávesnica.

Thorlabs ponúka širokú škálu vymeniteľných senzorov pre prácu s týmto prístrojom. Kremíkové a germániové polovodiče ponúkajú pokrývajú rozsah od viditeľného spektra až do polovice infračervenej oblasti s nanowatovou citlivosťou. Pre väčšie výkony Thorlabs ponúka rad tepelných senzorov s meraním do 30W.

Každý senzor obsahuje trvalú pamäť, v ktorom sú uložené informácie o čísle modelu, sériovom čísle, vlnových dĺžkach a pod. Pomocou týchto informácií konzola automaticky rozpoznáva senzor a inicializuje nastavenie pre jeho použitie.

LCD obrazovka v reálnom čase zobrazuje aktuálny optický výkon v číslicovej podobe a stĺpcového grafu.

Prístroj obsahuje aj RS-232 sériový port pre vzdialený prístup k meraniu výkonu, a konfigurovateľný analógový výstup pre externý monitoring prečítaného výkonu [16].

3.2.1 Komunikačné rozhranie prístroja

Prístroj PM100 využíva rozhranie RS-232, obrázok 3.2. Jeho výhodou je predovšetkým jednoduchá a lacná kabeláž, štandardné vybavenie na strane počítača, prípadne lacné USB prevodníky a relatívne veľká komunikačná vzdialenosť. Nevýhodami RS-232 je pomalá rýchlosť a obmedzenie rozhranie len na dve komunikujúce strany.



Obrázok 3.2: Komunikačné rozhranie prístroja PM100

Zariadenie poskytuje rozhranie podobné IEEE1174, čo je štandard ktorý poskytuje spôsob emulácie obecného IEEE488 rozhranie cez sériou linku použitím SCPI príkazov [16].

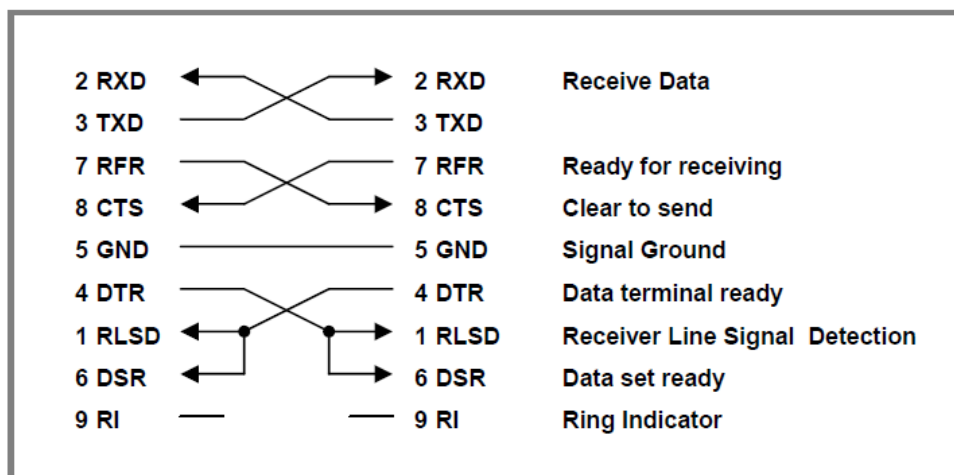
3.2.2 Null modem a USB na RS232 prevodník

Zariadenie vystupuje ako terminál – DTE, rovnako ako aj počítač, pre ich prepojenie je nutné použiť krížený kábel, takzvaný Null modem (obrázok 3.3). Null modem nie je typický, jeho piny bolo potrebné prepájať. Schéma prepojenia jednotlivých vodičov je na obrázku 3.4.



Obrázok 3.3: Null modem kábel

Nasledujúca schéma zobrazuje prepojenie vodičov. Čísla indikujú jednotlivé kontakty na DB9 konektoroch.



Obrázok 3.4: Schéma prepojenia jednotlivých vodičov [16]

Vzhľadom na to, že v nových počítačoch je RS232 port vytlačovaný modernejšími portami a v notebookoch takmer zastúpenie už nemá, bol použitý prevodník USB na RS232. Prevodníky sa vyznačujú horšími vlastnosťami. Mnou zvolený prevodník (obrázok 3.5), tieto

obmedzenia nemal, zvládal aj najvyššie prenosové rýchlosti. Avšak pri systéme Windows vykazoval väčšiu odozvu pri prvotnej inicializácii. To sa však pri Linuxe a OS X neprejavilo, z čoho usudzujem, že problém bol v ovládačoch.



Obrázok 3.5: *Prevodník RS232 -> USB*

3.3 Komunikačné rozhrania prístrojov Thorlabs

Pre komunikáciu s osobnými počítačmi využívajú meracie prístroje Thorlabs podobné komunikačné zbernice respektíve rozhrania, ako ostatní výrobcovia prístrojov meracej techniky pre zber dát. Dlhodobou najväčším štandardom je RS-232, ktoré je vytlačané modernejšími zbernicami, napríklad USB. Avšak v niektorých oblastiach je len ťažko nahraditeľné. Jeho výhodou je jednoduchosť a schopnosť komunikovať na dlhé trasy s minimom vodičov.

Ďalším popísaným rozhraním je RS-485, pomocou ktorej môže komunikovať až 32 vysielačov a 32 prijímačov. Vďaka použitiu diferenciálneho kódovania a krútenej dvojlinky ho možno použiť aj na dlhšie trasy.

Jediným popísaným rozhraním využívajúcim paralelný prenos je IEEE-488. Zbernica bolo navrhnutá priamo pre potreby meracích prístrojoch, používa sa na prenos na krátke vzdialenosti.

Záver kapitoly vysvetľuje princíp zbernice USB, ktorá zložitosť posunula do aplikačnej vrstvy. Pre svoju užívateľskú jednoduchosť vytlačila z počítačového segmentu iné periférne rozhrania a našla uplatnenie aj v meracej technike, kde ju výrobcovia čoraz častejšie zaradzujú do svojich prístrojov.

3.3.1 Rozhranie RS-232

Sériový port RS-232 bol pôvodne koncipovaný ako komunikačné rozhranie medzi terminálom a modemom. Neskôr sa využíval na pripájanie aj iných periférií.

Dnes je z osobných počítačov vytlačaný rýchlejšími rozhraniami, predovšetkým univerzálnou sériovou zbernicou, USB. Zväčša výrobcovia základných dosiek ho už nevyvádzajú priamo medzi ostatné porty, niekedy len ako vnútorný port, ktorý je potrebné vyviesť rozširujúcou kartou alebo vôbec. Vtedy je potrebné základnú dosku rozšíriť prídavným radičom vo forme PCI karty, prípadne použiť prevodník USB na RS-232.

Napriek tomu je toto rozhranie široko používané v meracích prístrojoch ako jeden z najväčších štandardov. V priemyselnej technike sa používa pri riadení a programovaní strojov, komunikácii pokladničných systémoch, prípadne nastavovanie aktívnych sieťových prvkov [5].

3.3.1.1 Základné parametre

Prenos informácií prebieha asynchrónne, pomocou pevne nastavenej prenosovej rýchlosti a synchronizáciou zostupnou hranou štartovacieho impulzu. RS-232 používa dve napäťové úrovne logickú 1 a 0. Logickou 1 je indikovaná zápornou úrovňou signálu, zatiaľ čo logická 0 je reprezentovaná kladným stavom [8].

3.3.1.2 Napäťové rozsahy pre vysielateľ

- Logická 1: -5V až -25V
- Logická 0: +5V až +25V
- Nedefinované: +5V až -5V [4]

3.3.1.3 Napäťové rozsahy pre prijímač

- Logická 1: -3V až -25V
- Logická 0: +3V až +25V
- Nedefinované: -3V až +3V [4]

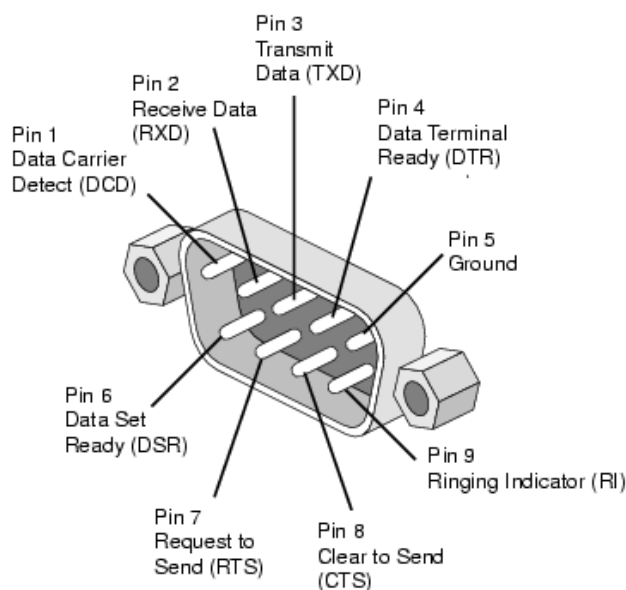
Signály pre riadenie prenosu dát, takzvaný handshaking majú rovnaký napäťový rozsah ako dátové signály, s výnimkou polaritu. Pri týchto signáloch je reprezentovaná logická 1 kladnou polaritou resp. logická 0 zápornou polaritou [4].

Definované sú dve vzájomne sériovo komunikujúce zariadenia Data Terminal Equipment (DTE) a Data Communication Equipment (DCE). DTE najčastejšie reprezentuje počítač a DCE komunikujúce zariadenie.

3.3.1.4 Používané prepožiovacie káble

- DTE - DCE, priamy kábel, slúži len ako predlžovací kábel ku konektorom
- DTE - DTE, krížený kábel, má navzájom prehodené signály TXD a RXD, nazývaný sa tiež Null modem [6],[8]

Najčastejším konektorom portu RS-232 je 9 pinový DE-9 konektor, niekedy sa používa DB-25 konektor, výnimočne Mini DIN-8, RJ-11 a RJ-45.



Obrázok 3.6: Konektor DE-9 s popisom jednotlivých kontaktov, prevzaté z [6,7]

Tabuľka 3.1: Popis jednotlivých kontaktov, spracované podľa [8]

Pin	Skratka	Názov	Význam
1	DCD, CD, RLSD	Data Carrier Detected, Receiver Line Signal Detection	DCE oznamuje že zaznamenal nosný kmitočet
2	RX, RXD	Received Data	Dáta prijímaná v DTE z DCE
3	TX, TXD	Transmitted Data	Dáta odosielaná z DTE do DCE
4	DTR	Data Terminal Ready	DTE signalizuje pripravenosť
5	GND	Signal Ground	Signálová zem
6	DSR	Data Set Ready	DCE signalizuje pripravenosť
7	RTS, RFR	Request To Send, Ready for receiving	DTE chce poslať dáta
8	CTS	Clear To Send	Povolenie k vysielaniu, DTE môže poslať dáta
9	RI	Ring Indicator	Oznamovanie zvonenia, pri modemoch

3.3.1.5 Rýchlosť prenosu a dĺžka káblov

Bežné prenosové rýchlosti použité pri RS-232 sú 110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 a 19200 Baudov za sekundu. Pre krátke vzdialenosti možno použiť aj rýchlosti 38400, 57600 a 115200.

Tabulka 3.2: *Príklad maximálnej dĺžky kábla v závislosti na rýchlosti [4]*

Rýchlosť (Baud)	Dĺžka kábla (m)
110	850
300	800
600	700
1200	500
2400	200
4800	100
9600	70
19200	50
115200	20

3.3.1.6 Zapojenie konektorov

Pre mnoho zariadení je plne postačujúce prepojenie len pomocou pinov TXD, RXD a Ground, no pre rýchly prenos údajov prípadne komunikáciu s modemom sú už potrebné aj ďalšie piny, pomocou ktorých sa prenos riadi [6].

3.3.1.7 Prenos dát

Prenos dát pomocou tohto rozhrania prebieha sériovou komunikáciou. Okrem užitočných dát (napr. hodnôt z meracieho prístroja) sú k toku dát pridávané aj ďalšie informácie slúžiace na synchronizáciu, detekciu chýb.

Sériový port typu RS-232 patrí do rodiny zariadení nazývaných UART, Universal Asynchronous/Synchronous Receiver and Transmitter. Čip UART príp. USART sa nachádza na základnej doske, buď ako samostatná súčiastka alebo integrovaný v South Bridge [6]. Komunikácia na najnižšej úrovni sa odohráva práve v tomto čipe. Jeho kvalita sa odzrkadľuje aj vo vzorkovacej frekvencii, ktorá býva aj 16 krát vyššia než prenosová rýchlosť, čo pomáha odstrániť rušenie.

Aj keď sa u RS-232 jedná o asynchrónny prenos dát, v praxi sú stále potrebné synchronizačné značky, ktoré sú vkladané na začiatok a koniec väčšej skupiny bitov, najčastejšie 8 bitov. Pred vlastným prenosom dát sa musí vysielacia aj prijímacia strana nakonfigurovať, aby prijímač vedel dáta akého formátu ma očakávať, koľko bitov obsahuje jedna skupina, aká je prenosová rýchlosť či sa prenáša paritný bit a dĺžku stop bitu.

Pred prenosom prvých bitov sa posiela štart bit, ktorý zmení kladný stav linky z logickou 1 na záporný stav s logickou 0. Po tomto oznámení prijímajúcej strane nasleduje

vlastný prenos dát, paritný bit (ak sú komunikujúce strany na ňom dohodnuté) a stop bit, ktorý má vždy hodnotu logickej 1. Dĺžka stop bitu môže byť dlhšia než ostatných bitov, aby prijímač mal dostatok času na spracovanie dát, uložením práve prečítaného slova do vyrovnávacieho registra FIFO. Štart a stop bity tiež zaisťujú nerozsynchronizovanie zariadení ak by sa posielané slovo skladalo so samých jednotiek, prípadne núl.

Podkapitola spracovaná podľa [5], [6].

3.3.1.8 Detekcia chýb

Všetky v praxi používané dátové komunikačné kanály sú zaťažené rušením, predovšetkým medené káble v priemyselnom prostredí musia znášať elektrický šum. Šum môže mať za následok prijatie nesprávnych dát. Základný princíp detekcie chýb spočíva v tom, že vysielateľ vypočíta paritný bit vzťahujúci sa odosielanému slovu. To je odoslané prijímaču na konci slova, a prijímač opakuje rovnaký výpočet, ak po vypočítaní parity dostane iný znak, bude predpokladať, že došlo k chybe [4].

RS-232 môže využívať tieto parity [8]:

Párna parita - počet jednotkových bitov + paritný bit = párne číslo

Nepárna parita - počet jednotkových bitov + paritný bit = nepárne číslo

Space parity - paritný bit je vždy 0

Mark parity - paritný bit je vždy 1

3.3.1.9 Obmedzenia rozhrania

Napriek svojej popularite a rozsahu použitia treba poznamenať, že RS-232 má v kontexte moderných požiadaviek niekoľko slabín, sú to hlavne:

- Obmedzenie pripojených zariadení, vyplývajúce z topológie Point to Point
- Obmedzená vzdialenosť
- Pomalá rýchlosť
- Úrovne signálu nie sú priamo kompatibilné s modernými štandardmi

V dôsledku toho bolo vyvinutých množstvo ďalších štandardov prekonávajúcich tieto obmedzenia, jednému z nich je venovaná nasledujúca kapitola.

3.3.2 Ostatné rozhrania prístrojov Thorlabs

3.3.2.1 Rozhranie RS-485

Štandard RS-485 je rozšírením štandardu RS-422, keď zvyšuje počet možných vysielačov a prijímačov pri zachovaní rovnakej maximálnej vzdialenosti a prenosovej rýchlosti.

Zbernica je najčastejším používaným systémom pre multidrop komunikačné systémy pre svoju odolnosť voči šumu, veľkú maximálnu vzdialenosť a relatívne vysokú rýchlosť (5km pri rýchlosti 1200b/s, 1200m pri rýchlosti 90kb/s) a lacnému nasadeniu.[4]

Základné parametre

Spôsob komunikácie sa nazýva "multidrop", keď je umožnené vysielaču poslať dáta do viacerých prijímačov.

RS-485 poskytuje spoľahlivý prenos pomocou 2 vodičov s týmito parametrami:

- Maximálna vzdialenosť 1200m
- Prenosová rýchlosť do 10Mb/s
- Maximálne 32 vysielačov
- Maximálne 32 prijímačov

Napät'ové rozsahy

Štandard definuje dva vodiče označované ako A a B. Vodič A sa alternatívne označuje ako A-, TxA alebo Tx+. Podobné značenie má aj vodič B: B+, TxB, Tx-.

Napät'ové rozsahy pre vysielače sú:

- -1,5V až -6V pre vysielač A, v závislosti na vysielači B, pre logickú 1
- +1,5V až +6V pre vysielač A, v závislosti na vysielači B, pre logickú 0

Významné vylepšenie RS-485 je, že vysielač môže pracovať s tromi stavmi:

- Logická 1
- Logická 0
- Stav vysokej impedancie

Stav vysokej impedancie zaisťuje, aby všetky prijímače a neaktívne vysielače nenarušovali komunikáciu. Riadenie prenosu je na protokole vyššej vrstvy.

Konektory

Štandard nedefinuje žiadne konektory, v praxi sa preto pri nasadzovaní tohto rozhrania volí konektor v podobe skrutkovacích svoriek pre pripojenie vodičov. Niektorí dodávatelia využívajú DE-9 konektory, no ten vykazuje problémy pri inštalácii pre multidrop komunikáciu, keďže DE-9 bol navrhnutý pre jeden vodič na 1 pin konektora.

Tabuľka 3.3: Porovnanie RS-232 s RS-485

Štandard	RS-232	RS-485
Signalizácia	Nesymetrická	Diferenciálna
Maximálny počet vysielačov a prijímačov	1 vysielač, 1 prijímač	32 vysielačov, 32 prijímačov
Odporúčaná dĺžka kábla	75m	1200m
Maximálna prenosová rýchlosť	20kb/s	10Mb/s
Maximálne napätie	+/-25V	+12V až -7V
Výstupné napätie vysielača	+/-5.0V až +/-25V	+/-1,5V až +/-6V

3.3.2.2 Rozhranie IEEE-488.2 (GPIB)

Rozhranie pôvodne vyvinuté firmou Hewlett-Packard pod menom HPIB, neskôr prijaté ostatnými výrobcami a napokon prijaté ako štandard IEEE-488. Návrh rozhrania povoľuje pripojenie 15-tich zariadení súčasne na spoločnú paralelnú zbernicu. Zbernicu tvorí 24 vodičov, ktoré sa delia do 4 skupín:

- Príkazové a údajové
- Nadväzujúce spojenia
- Riadiace
- Uzemňovacie

Základné parametre

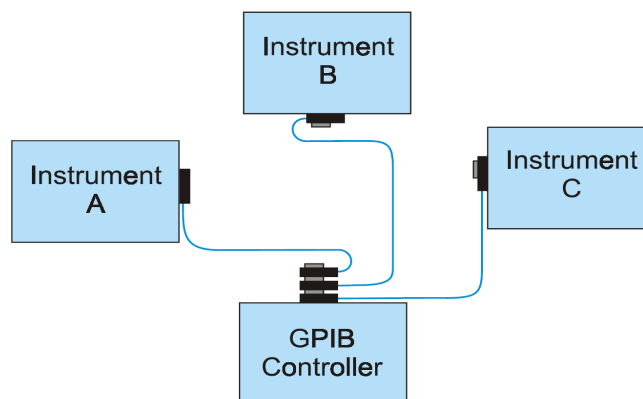
Jedná sa o paralelnú zbernicu, keď je súčasne posielaný celý jeden bajt. Maximálna prenosová rýchlosť je 1MB/s. Maximálna dĺžka zbernice je 20m, maximálna vzdialenosť medzi zariadeniami 2m.

Spôsob zapojenia

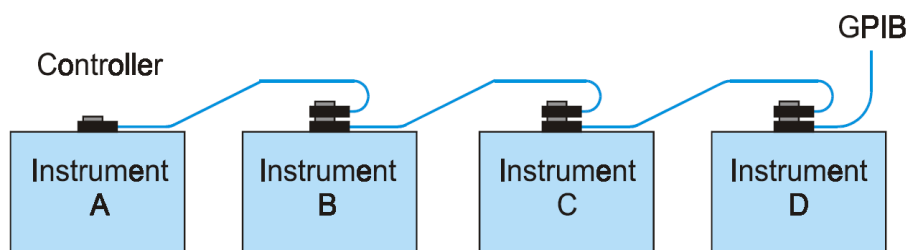
Zariadenia môžu byť zapojené jedným z dvoch spôsoboch

- Hviezdicové zapojenie
- Lineárne zapojenie

Nevýhodou hviezdicového zapojenia je, že zariadenia musia byť blízko seba, kvôli limitom dĺžky kábla.



Obrázok 3.7: *Hviezdicové zapojenie*



Obrázok 3.8: *Lineárne zapojenie*

Typy zariadení

- Talker - Hovorca
- Listener - Poslucháč
- Talker/Listener - Hovorca/Poslucháč
- Controller - Radič

Hovorca je zariadenie komunikujúce v jednom smere, dáta môže len oposielať do iných zariadení. Nedostáva žiadne dáta. Hovorca čaká na signál z Radiča, a potom pošle dáta na zbernicu. Hovorcovia sú zariadenia typu: digitálny voltmeter, alebo niektoré A/D prevodníky.

Poslucháč je zariadenie komunikujúce v jednom smere, dáta môže len prijímať od iných zariadení. Neposiela žiadne dáta. Prijíma dáta keď Radič signalizuje čítanie zbernice. Typickými zariadeniami sú rôzne záznamové zariadenia, tlačiarne a pod.

Hovorca/Poslucháč je kombináciou týchto dvoch zariadení, s obmedzením, že nikdy nie je Hovorca a Poslucháč naraz. Typickým príkladom takéhoto zariadenia je prístroj, ktorý je Poslucháč pri nastavovaní napr. rozsahu, a Hovorca pri vracaní výsledku späť Radiču. Väčšina moderných digitálnych nástrojov sú tohto typu.

Radič spravuje a ovláda všetko, čo sa udeje na zbernici. Je to väčšinou PC alebo iné mikroprocesorom riadené zariadenie. Radič určuje, ktoré zariadenie bude posielat' a ktoré prijímať dáta a kedy. Aby sa predišlo nejasnostiam môže byť len jeden aktívny Radič CIC.

Ostatné radiče musia byť neaktívne. Radič tiež disponuje možnosťou byť Hovorca/Poslucháč. V niektorých prípadoch keď niekoľko PC je súbežne pripojených na GPIB, jeden je zväčša nakonfigurovaný ako Radič a ostatné ako Hovorca/Poslucháč. Radiče sa musia zúčastniť každého prenosu dát. Pred prenosom musia adresovať ako Hovorcu, tak Poslucháča, až potom môže Hovorca poslať dáta Poslucháčovi. Po prenose ich Radič odadresuje.

Niektoré GPIB konfigurácie nepožadujú Radič, napríklad keď je len jeden Hovorca a jeden alebo viac Poslucháčov. Radič je potrebný len keď aktívny Hovorca má byť zmenený.

Elektrická a mechanická charakteristika

GPIB zbernica využíva tienený kábel o 24 vodičoch, s konektormi na koncoch. Ako štandardný konektor sa používa "Amphenol". Pridaním ďalšieho zariadenia do zbernice sa vykonáva zapojením ďalšieho kábla do topológie. Konektory je možno pripojiť do seba, za sebou, a upevniť skrutkami.



Obrázok 3.9: GPIB konektor s označením jednotlivých pinov

Kábel sa skladá z 8 dátových vodičov a 8 párov pre ovládanie a riadenie zbernice. Dátové vodiče sa využívajú výhradne pre prenos dát, paralelne bajt za bajtom po zbernici. Tri z ôsmich párov sa využívajú na handshaking vodičov, ktoré koordinujú prenos dát (DAV, NRFD a NDAC). Zvyšných päť párov je na ovládanie a riadenie (ANT, REN, IFC, SRQ a EOI). Osem zemí poskytuje tienenie a ochraňuje vodiče pred vzájomným a externým rušením.

Osem dátových vodičov DI01 až DI08 prenáša dáta a príkazové správy. Všetky príkazy a väčšina dát používa 7-bitové ASCII kódovanie, pričom v takom prípade je 8. bit nevyužitý, alebo použitý ako paritný bit.

GPIO používa negatívne pravdivú logiku, a štandardné napätie TTL logiky

Každé zariadenie pripojené k GPIO má jedinečnú adresu zariadenia a musí byť navrhnuté tak, aby identifikovalo, či dáta alebo príkazy patria jemu, alebo inému zariadeniu. Adresa zariadenia, môže byť ľubovoľná v rozsahu 1 až 30, volená užívateľom, zväčša DPI prepínačom na zariadení.

GPIO handshaking

Dáta sú prenášané asynchrónne na jeden bajt súčasne. Prenos dát je koordinovaný handshake signálmi pomocou troch vodičov (DAV, NDAC a NRFD). Handshaking zaisťuje, že Hovorca, pošle dáta na zbernicu len vtedy, keď všetci poslucháči sú pripravený prijať dáta a nechá dáta na zbernici, pokiaľ nebudú prečítané všetkými Poslucháčmi. Tiež zaisťuje, že Poslucháči akceptujú dáta len ak je na zbernici platný bajt.

Hovorca musí čakať pre NRFD vodič prepne na "nepravda" predtým, než nejaké dáta budú poslané na zbernicu. NRFD vodič je ovládaný Poslucháčmi. Len ak NRFD je prepnutý "nepravda" sú všetci poslucháči schopný prijať dáta. Hovorca potom prepne na DAV "pravda", Poslucháči detegujú zmenu na DAV a čítajú bajt na dátových vodičoch. Keď každý Poslucháč akceptuje dáta, uvoľní NDAC. Potom ako posledný Poslucháč akceptoval dáta, NDAC vodič sa prepne na "nepravda" a to signalizuje Hovorcovi, že dáta boli akceptované. Len ak boli dáta akceptované všetkými Poslucháčmi môže sa DAV prepnúť na "nepravda" a odstrániť dáta zo zbernice.

3.3.2.3 Univerzálna sériová zbernica (USB)

Výhodou USB je taktiež možnosť napájania prístrojov s malými výkonovými požiadavkami z napájacích vodičov zbernice.

Štandard vznikol konzorciom IT firiem, ktorého cieľom bolo zjednotiť pripájanie vstupno-výstupných zariadení. Návrh nepočítal s použitím pre systémy na zber dát. Avšak v mnohých ohľadoch je priam vhodný. Systémy na zber dát najčastejšie využívali zbernicu GPIO, no systémy na nej založené môžu byť nákladné, a rozhranie nie je v PC podporované bez zakúpenia ďalšieho hardvéru. USB sa javí ako lacná alternatíva k jednoduchým systémom na zber dát. Medzi jej hlavné výhody patrí: jednoduchá manipulácia Plug - and - Play, cenová dostupnosť, a vysoké prenosové rýchlosti. Nevýhodou je relatívne malá maximálna vzdialenosť, čo ju obmedzuje pri priemyselnom nasadení na veľké vzdialenosti a možnosť použiť len na laboratórne a stolné systémy.

Rozbočovače

Pre zvýšenie počtu portov pre pripojenie ďalších zariadení sa používajú rozbočovače, tzv. "huby". Takýmto rozšírením zbernice môže riadiaci uzol obsluhovať až 127 zariadení. Rozbočovače je možné spájať a tým vytvárať tzv. stromovú štruktúru. Maximálny počet úrovní zapojených rozbočovačov je 5.

Prenosové médium

Fyzická vrstva univerzálnej sériovej zbernice je založená na diferenciálnom (rozdielovom) $\pm 3V$ komunikačnom systéme. Diferenciálne kódovanie sa používa na odrušenie okolitého elektromagnetického rušenia. V tomto ohľade je podobná štandardu RS-485. Káble, prepojujúce jednotlivé komunikujúce uzly, obsahujú celkovo 4 vodiče. Pomocou vodičov Vbus a GND sú napájané prístroje s malými výkonovými požiadavkami. Zvyšné dva vodiče D+ a D- sa používajú na samotný prenos dát. Zbernica nemá vyvedený žiadny hodinový signál. Zariadenie sa synchronizuje riadiacim uzlom v rámci každého preneseného bajtu.

Prenosové rýchlosti

Rýchlosť prenosu sa líši vzhľadom na použitú verziu zbernice. Novšie verzie sú spätne kompatibilné so staršími. Prístroje Thorlabs majoritne využívajú USB v verzii 1.1 a 2.0.

USB vo verzii 1.1 definovala dve rýchlosti:

- Low Speed - rýchlosť 1,5Mb/s
- Full Speed - rýchlosť 12Mb/s

Vo verzii 2.0 prišlo k nárastu rýchlosti:

- High Speed - rýchlosť 480Mb/s

Od roku 2008 sú na trhu periférie využívajúce USB verzie 3.0, v meracej technike táto verzia zbernice nie je veľmi rozšírená, vzhľadom na relatívne malé množstvo dát, ktoré neprekonáva limity verzie 2.0.

Signalizácia rýchlosti

Keď je zariadenie pripojené na hub, port na hube bezprostredne rozhodne o rýchlosti zariadenia. Na strane riadiaceho uzlu je pripojený 15kohm rezistor pre každú dátovú linku D+, D-, ktorého druhý koniec je uzemnený. Ak nie je zbernici pripojené žiadne zariadenie, je na linkách nízke napätie „L“. Tento stav sa tiež nazýva „Signal Ended Zero“, „SE0“.

Na strane pripájaného zariadenia je na jednej dátovej linke pripojený „Pull-Up“ rezistor s hodnotou 1,5kohm pripojený na 3,3V [10].

Ak riadiaci uzol zistí, že napätie na D+ bolo zmenené na úroveň „H“, potom označí zariadenia ako „Full Speed“. Ak je napätie na D- v stave „H“, potom sa s ním pracuje ako s „Low Speed“ [4].

Prístroje pracujúce s rýchlosťou „High Speed“ sa signalizujú rovnako ako zariadenia s rýchlosťou „Full Speed“, s tým rozdielom, že behom reštartu zbernice sa zariadenie predstaví ako „High Speed“, z vodiča sa odpojí „Pull-Up“ rezistor a na koncoch vedenia sa medzi dátových vodičov sa aktivujú 90 ohm rezistory, ktoré tlmia odrazy [10].

Napäťové úrovne

Pre zariadenie pracujúce s nízkou a plnou prenosovou rýchlosťou sa používa rovnaké signálne napätie, pre vysokorýchlostné prenosy pracujú s iným napätím.

Tabulka 3.4: *Napät'ové úrovne dátových vodičov*

Napät'ová úroveň	Low Speed a Full Speed	High Speed
Nízka úroveň L	0,0V až 0,3V	-10mV až 10mV
Vysoká úroveň H	2,8V až 3,6V	360mV až 440mV

Jednotlivé bity sú prenášané pomocou zmeny stavu dátových liniek, rozoznávajú sa práve napät'ové úrovne „H“ a „L“, pomocou ktorých je možné zakódovať celkovo 4 stavy. Stav, pri ktorých sú úrovne opačné sa označujú „J“ alebo „K“ v závislosti na prenosovej rýchlosti a polarite napätia medzi dátovými vodičmi[10].

Kódovanie dát

Tok dát binárneho signálu sa kóduje inverznou metódou NRZI, spôsob je nasledovný:

- Logická 0 – zmena stavu medzi „J“ a „K“ resp. zmena medzi „K“ a „J“
- Logická 1 – k zmene nedôjde

Ak zariadenie chce poslať 6 jednotiek za sebou, za ne vložená nula (ktorú si prijímač odstráni), čím dôjde k vynúteniu zmene, a zariadenie sa môže zosynchronizovať podľa vysielateľa, vzhľadom na to, že zbernica nemá vyvedený samostatný hodinový signál.

Spôsob prenos dát

Zbernica tvorí stromovú štruktúru, kde na vrchole je koreň – riadiaci uzol, ktorý adresuje ostatné pripojené zariadenia a inicializuje prenosy dát. Keďže zbernica nemá okrem vyššie popísaných vodičov ďalšie pre riadenie prenosu, prebieha riadenie na vyššej úrovni, keď musia byť prenášané popri užitočným dátam aj príkazové správy.

Pakety a druhy paketov

USB systém je založený na master/slave komunikácii, to znamená, že periférne zariadenie nemôže začať komunikáciu na zbernici. Master hub má úplnú kontrolu nad prenosom. On inicializuje všetku komunikáciu s rozbočovačmi a zariadeniami [4]. Tento koreňový uzol pošle „Token Paket“ na zariadenie, s ktorým chce komunikovať a za ním môže nasledovať „Dátový paket“, za ktorým nasleduje „Handshake paket“

Každý paket začína „synchronizačným bajtom“, ktorý ma hodnotu 00000001. Prenos paketu je ukončený sekvenciou „End of Packet“ [11].

- Token paket - koreňový uzol pomocou neho adresuje zvolené zariadenie
- Dátové pakety – slúži na obojsmerný prenos medzi zariadením a koreňovým uzlom
- Start of Frame paket (SOF) - používa sa pre synchronizáciu pri izochronnom prenose
- Handshake pakety – posielajú sa po prenose dátového paketu
- Funkcie suspend, resume a reset

3.4 Riadiaci softvér

Pre komplexnosť automatizácie je potrebné napísať program, ktorý by získaval dáta z meracieho prístroja. Takýto zber dát je neskôr možné využiť na analýzu a prezentáciu dát.

K vyvinutiu softvéru bolo zvolené prostredie MATLAB a jeho komponenty, a to predovšetkým kvôli jeho širokým možnostiam, čo sa automatizácie týka. Umožňuje komunikáciu po sériovom porte a má nástroje pre zber, analýzu a prezentáciu nameraných dát.

Funkčný program by mal obsahovať možnosti pre:

- Výber portu – vzhľadom na špecifiká sériového portu
- Informovať – informovať o nedovolených operáciách
- Nastavenie časového intervalu veľkého rozsahu – keďže starnutie je dlhodobý proces, a zároveň neobmedziť program na veľké periódy
- Počítanie útlmu – a tým vyhodnocovať degradáciu vlákna
- Export dát – pre ich ďalšie spracovanie
- Nastavenie vlnovej dĺžky – lebo útlm sa meria na diskkrétnej vlnovej dĺžke

Pri tvorbe používateľského rozhrania je za cieľ dodržať základné poslanie GUI – uľahčiť ovládanie aplikácie používateľom.

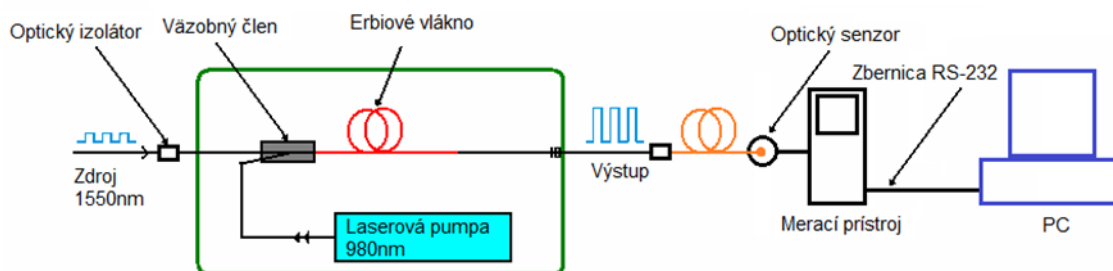
Základné požiadavky pre GUI podľa literatúry [12] sú:

- Jednoduchosť – pohyb po aplikácii má byť jednoduchý a rýchly.
- Previazanosť – aplikácia sa nesmie stratiť, bez možnosti návratu
- Komplexnosť – ošetrenie všetkých eventualít

3.5 Schéma zautomatizovaného meracieho systému

Schéma (obrázok 3.10) vznikla spojením schémy meracieho systému zahrnujúcej zdroj optického žiarenia, zosilňovač EDFA namáhané vlákno a merač optického výkonu, so schémou časti pre zautomatizovanie – merací prístroj, zbernicu RS232 a riadiaci softvér.

V nasledujúcej kapitole je popísaný vyvinutý riadiaci softvér.



Obrázok 3.10: Celková schéma zautomatizovaného meracieho systému

4 Realizácia softvéru pre zber dát

Pre realizáciu softvéru boli použité nástroje systému MATLAB, vzhľadom na výhody pri automatizácii a jeho časté nasadzovanie pri vedecko-technických riešeniach.

Jadro programu tvorí sériová komunikácia s prístrojom, keďže merací prístroj disponuje rozhraním RS232. Zariadenie poskytuje príkazy podobné IEEE1174, čo je štandard, ktorý poskytuje spôsob emulácie obecného IEEE488 rozhranie cez sériou linku použitím SCPI príkazov [16].

Používateľské rozhranie je vytvorené za pomoci nástroja GUIDE obsiahnutého v Matlabe. To umožnilo vytvoriť prázdne metódy a následne prebiehala ich implementácia.

Taktiež sa podarilo dosiahnuť multiplatformnosť programu.

4.1 MATLAB

MATLAB je programovací jazyk a integrované prostredie, výpočtový nástroj pre vedecko-technické výpočty. Poskytuje široké nástroje pre zber, analýzu a prezentáciu dát. MATLAB sa stal behom uplynulých rokov celosvetovým štandardom v oblasti technických výpočtov a príbuzenských oborov. Preto bol tento nástroj zvolený pri realizácii softvéru pre túto prácu. Pre tvorbu softvéru bola použitá verzia *MATLAB 2012a*, verzia je dostupná pre hlavné platformy: MS Windows, GNU/Linux, OS X.

MATLAB umožňuje pracovať so sériovým portom. Nástroj GUIDE pre tvorbu používateľských aplikácií.

4.1.1 Sériová komunikácia

Základný element sériovej komunikácie medzi prostredím MATLAB a zariadením je funkcia `serial()`. Pomocou tejto funkcie prebieha vytvorenie sériového objektu, ktorému sa dodatočne nastavujú požadované vlastnosti.

```
objekt = serial('port');
```

```
objekt = serial('port','Názov vlastnosti',Hodnota,...);
```

Ako parameter dostáva názov portu, ktorý sa líši vzhľadom na použitý operačný systém. Tieto rozdiely, vyplývajúce z podstaty ako sériové porty identifikujú jednotlivé operačné systémy sú zobrazené v tabuľke 4.1.

Tabuľka 4.1: *Rozdiely v systémoch*

Platforma	Konštruktor sériového portu
Windows	<code>serial('COM1');</code>
GNU/Linux	<code>serial('/dev/ttyS0');</code>
OS X	<code>serial('/dev/tty.KeySerial1');</code>

Ak port neexistuje alebo je už používaný, nebude možné priradiť port objektu. To môže byť častým problémom pri tvorbe softvéru a jeho testovaní. Keď objekt ostane v pamäti a nie je z nej korektne zmazaný. Vtedy pomôže príkaz na zmazanie všetkých objektoch, aj skrytých, bez poznania ich názvov a vlastností.

```
delete(instrfind);
```

Po vytvorení objektu pre sériovú komunikáciu a nastavení požadovaných vlastností je potrebné tento port otvoriť funkciou `fopen(objekt)`, tým sa k zariadeniu pripojíme.

```
objekt = serial('COM1');  
set(objekt, 'BaudRate', 4800);  
fopen(objekt);
```

Ak nevznikli na trase žiadne problémy, MATLAB sa spojí so zariadením a je mu možné zaslať príkazy, resp. očakávať dáta. Nasledujúci fragment kódu ukazuje poslanie dotazu `*IDN?`, ktorý vyzýva zariadenie na identifikáciu a následnú odpoveď zapísanú do premennej `idn`.

```
fprintf(objekt, '*IDN?')  
idn = fscanf(objekt);
```

Komunikácia sa ukončuje uzatvorením portu príkazom `fclose(objekt)`, nasleduje korektné zmazanie objektu z pamäte, a prípadne, ak sme s objektom pracovali cez *Workspace*, zmazanie premennej z tohto prostredia.

```
fclose(objekt);  
delete(objekt);  
clear objekt;
```

Podkapitola spracovaná podľa [14] a [15].

4.1.2 GUIDE

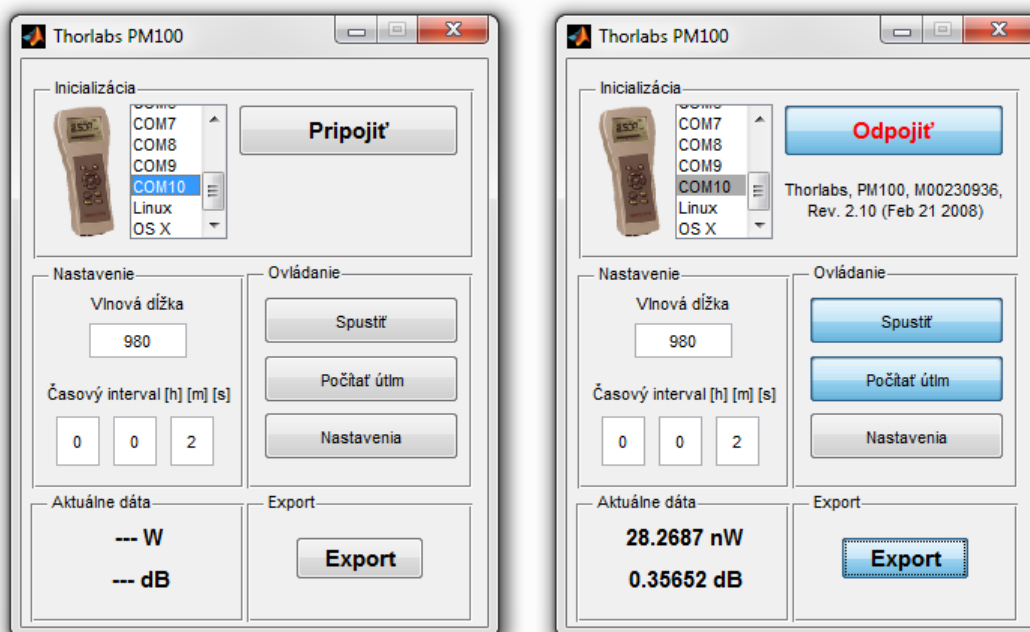
MATLAB obsahuje sadu nástrojov pre tvorbu používateľských rozhraní, nazývanú GUIDE. Pomocou tohto nástroje je možné interaktívne vyvíjať používateľské rozhrania umiestňovaním jednotlivých grafických prvkov tzv. *uicontrolov* na plochu *Layout Editor*a. Po preložení GUI MATLAB vygeneruje dva súbory jeden s príponou *.fig* a druhý s príponou *.m* tzv. *m-file*. Prvý súbor je bežným textovým editorom nečitateľný, druhý obsahuje prázdne metódy, tzv. *callbacky*, ktoré je potrebné implementovať. Callbacky znamenajú odozvu, čo sa má udiť po kliknutí na konkrétny element.

4.2 Popis programu

Pri tvorbe používateľského rozhrania bolo za cieľ dodržať základné poslanie GUI – uľahčiť ovládanie aplikácie používateľom [12]. Prostredie je jednoduché, prehľadné, základné tlačidlá sú zvýraznené, čo uľahčuje používateľovi orientáciu v programe. Na nedovolené operácie je používateľ upozorňovaný. Taktiež dodatočné nastavenie sú skryté pod tlačidlom *Nastavenia*, čo sprehľadní softvér.

Program sa spúšťa zapísaním názvu súboru do príkazového riadku Matlabu alebo dvojklikom. Dodatočne by bolo možné softvér skompilovať nástrojom MATLAB Compiler, čím by vznikol spustiteľný súbor bez potreby spúšťať MATLAB, ale bohužiaľ, MATLAB tento nástroj neposkytuje na študijné účely.

Samotný program obrázok 4.1 je rozdelený do piatich logických blokov, ktoré sú popísané v nasledujúcich podkapitolách. Intuitívne ovládanie nás upozorňuje na dodatočné nastavenie, prípadne nedovolené nastavenie prístroja. Obrázok 4.1 zobrazuje program vo vypnutom a zapnutom stave.

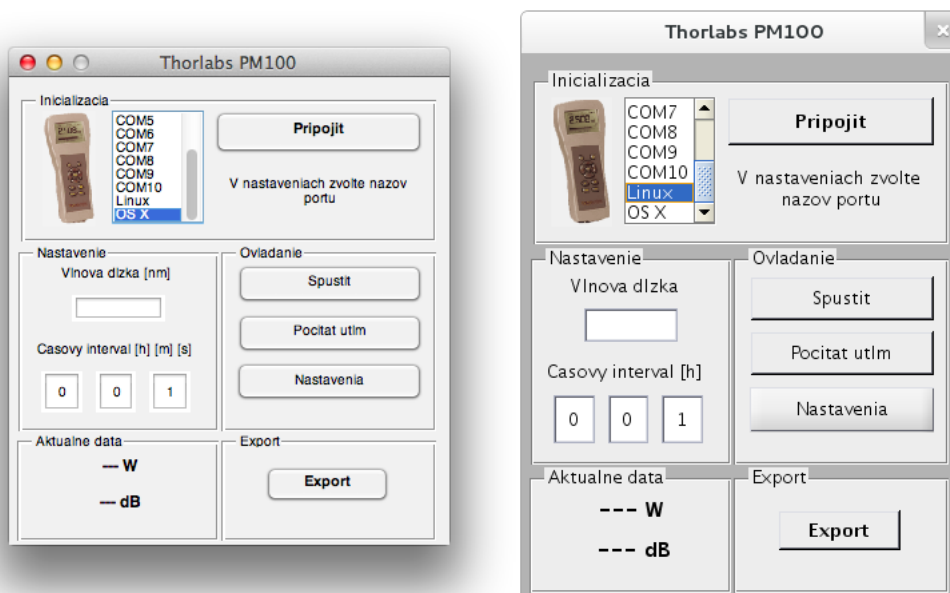


Obrázok 4.1: Program, vľavo po otvorení, napravo po spustení merania

4.2.1 Verzie programu

Program bol po vývoji verzie pre Windows portovaný aj pre operačné systémy UNIXového typu (obrázok 4.2). Bolo to z dôvodu, že MATLAB v týchto operačných systémoch nepodporuje diakritiku a zároveň *uicontrols* (jednotlivé ovládacie prvky) vytvorené pre Windows sa nezobrazujú v prívetivom vzhľade.

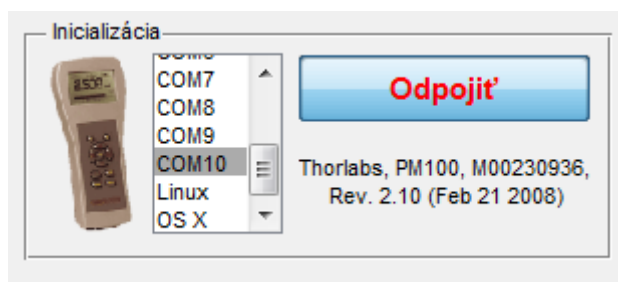
Finálna verzia bola testovaná okrem MS Windows 7 64-bit, aj na Mac OS X Mavericks a Debian 7.5 s prostredím GNOME 3.



Obrázok 4.2: Druhá verzia programu, vľavo OSX napravo Linux, distribúcia Debian

4.2.2 Inicializácia

Vytvorenie spojenie prebieha vybraním portu. Pre operačný systém Windows program ponúka 10 COM portov, čo dostatočný aj po pripojení prevodníka RS232/USB, s ktorým bol systém testovaný. Ak je zvolená položka *Linux*, prípadne *OS X*, program vypíše hlásenie o nutnosti nastavenie názvu portu, tak ako sa identifikuje v konkrétnom operačnom systéme.

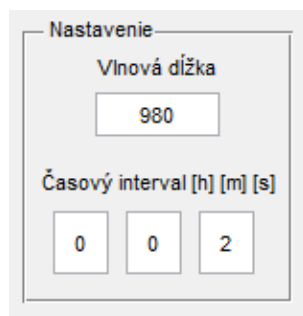


Obrázok 4.3: Inicializácia

Po kliknutí na tlačidlo *Pripojiť* prebehne samotné vytvorenie objektu *serial*, nastavenie jeho konkrétnych parametrov a otvorenie portu. Úspešnosť spojenia program potvrdí vypísaním odpovede na zaslaný dotaz **IDN?* a zmenou nápisu a farby tlačidla. Pozri obrázok 4.3. Zároveň ďalšími dvoma dotazmi *:WAVELENGTH?* a *:WAVELENGTH?:RANGE?* zistíme aktuálnu vlnovú dĺžku a rozsah vlnových dĺžok ktorými disponuje optický senzor. Tieto dva dotazy sú potrebné pre nasledujúci blok *Nastavenie*.

4.2.3 Nastavenie

V druhom logickom bloku programu zobrazenom na obrázku 4.4 sú polia pre nastavenie *vlnovej dĺžky* a *časového intervalu*. Po prvotnej inicializácii programu sa pole pre vlnovú dĺžku automaticky nastaví aktuálnou vlnovou dĺžkou na ktorú je nastavený merací prístroj. Používateľ zadáva vlnovú dĺžku v nanometroch. Ak je zadaná vlnová dĺžka mimo rozsahu, akým disponuje optický senzor, program na to upozorní vypísaním oznámenia o nesprávnej hodnote a správnym rozsahom vlnových dĺžok senzora. Taktiež, pri nesprávnej hodnote bude nastavená hodnota z prístroja.



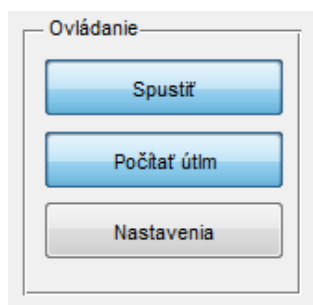
Obrázok 4.4: Program, nastavenie

Ďalšie tri polia slúžia na nastavenie časovej periódy. Polia sú navzájom prepojené a prepočítavajú sa na sekundy, výsledná hodnota sa predáva *timeru*. Najmenšia možná nastaviteľná hodnota je 1 sekunda. Polia sú taktiež ošetrované pre prípad, ak by používateľ zadal zápornú, prípadne nenumernú hodnotu.

Do časového intervalu je možné zadať aj hodnoty väčšie ako 24 hod, 60 min resp. 60 s. To je zvlášť potrebné pre potreby starnutia optických vlákien, keďže ide o proces dlhodobý, preto program zvládne zadanie intervalu 72 hodín pre zaznamenanie hodnoty každé tri dni.

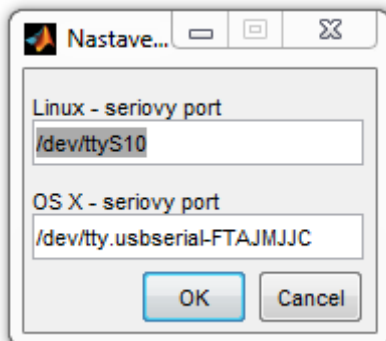
4.2.4 Ovládanie

Blok ovládanie obsahuje tri tlačidlá. Pozri obrázok 4.5. Kliknutím na tlačidlo *Spustiť* sa spustí časovač s funkciou, ktorá vykonáva samotné meranie. Stlačením *Počítať útlm* dôjde k zaznamenaniu aktuálneho výkonu a následne každý zvolený interval sa zaznamená aktuálny výkon, z čoho sa vypočíta aktuálny útlm. Aktuálne namerané hodnoty sa vypisujú v bloku *Aktuálne dáta*.



Obrázok 4.5: Ovládanie

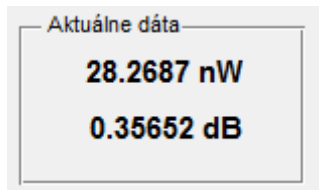
Kliknutím na *Nastavenia* sa otvorí nové okno (obrázok 4.6) ,kde používateľ v prípade, že vybral port pre Linux, prípadne OS X, zadáva názov požadovaného portu, tak ako ho identifikuje konkrétny zvolený operačný systém.



Obrázok 4.6: *Vyskakovacie okno Nastavenia*

4.2.5 Aktuálne dáta

Výpis aktuálnych nameraných, respektíve vypočítaných dát prebieha v bloku *Aktuálne dáta* zobrazenom na obrázku 4.7. Každým prechodom časovačom sa tieto dáta aktualizujú v zadanom časovom intervale.

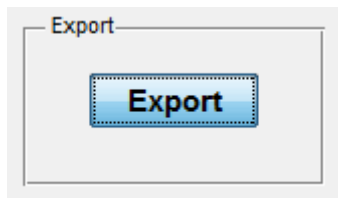


Obrázok 4.7: *Aktuálne dáta*

Výkon zaznamenávaný programom je väčšej presnosti, keď disponuje vyšším počtom desatinných miest, oproti obrazovke meracieho prístroja. Zmena jednotky na vyšší resp. nižší rád prebieha v softvéri automaticky.

4.2.6 Export

V prípade, že používateľ zaklikne tlačidlo *Export* (obrázok 4.8) je vyzvaný na zadanie mena súboru, do ktorého sa budú namerané dáta ukladať. Dáta sa ukladajú do súboru formátu *.txt* a dát sú oddeľované tabulátorom.



Obrázok 4.8: *Export dát*

Formát bol zvolený pre jeho jednoduchosť pri importe do rôznych aplikácií. Po vypísaní úvodného riadku s názvom prístroja a dátumom spustenia merania nasledujú riadky so stĺpcami: *dátum*, *čas*, *nastavená vlnová dĺžka*, *útlm* a *výkon*. Každý riadok znamená jeden prechod časovačom v zadanej perióde. Ak používateľ v bloku *Ovládanie*, nezaklikol *Počítať útlm*, tak, tabuľka sa tomu prispôsobí a útlm, tak nebude zaznamenávaný. Dáta sa ukladajú do súboru priebežne, čo robí program nenáročný na pamäť, a tak zvládne byť spustený dobu potrebnú na meranie starnutia vlákna.

5 Experimentálne overenie navrhnutého systému

Pre potreby otestovania vyvinutého softvéru pre zber dát bolo zostavené pracovisko (obrázok 5.1) podľa návrhu popísaného v kapitole 3.

5.1 Použité prístroje

- Zdroj optického signálu, EXFO FLS-2100
- Riadiaca jednotka pumpy, Thorlabs LDC 202 C
- Stabilizátor teploty, Thorlabs TED 200 C
- Merač optického výkonu, Thorlabs PM100
- Prevodník USB2.0 na sériový port s čipom FTDI
- Kábel RS232, Null modem
- Softvérové vybavenie počítača:
 - MS Windows 7 64-bit
 - MathWorks MATLAB 2012a

5.2 Úprava pracoviska

Teplotný stabilizátor nebol pripojený kvôli dosiahnutiu aspoň malých výkyvov zmeny výkonu v malom časovom intervale. Taktiež pre demonštráciu funkčnosti vyvinutého softvéru sa meralo na vlnovej dĺžke 980 nm, z dôvodu možnosti použiť senzor v rozsahu 800 nm až 1100 nm. Čo však nezabránilo overeniu funkčnosti riadiaceho softvéru, ktorý zvláda všetky vlnové dĺžky podporované senzorom.



Obrázok 5.1: Meracie pracovisko

Tabuľka 5.1 zobrazuje výstup softvéru s nastaveným časovým intervalom 4 sekundy.

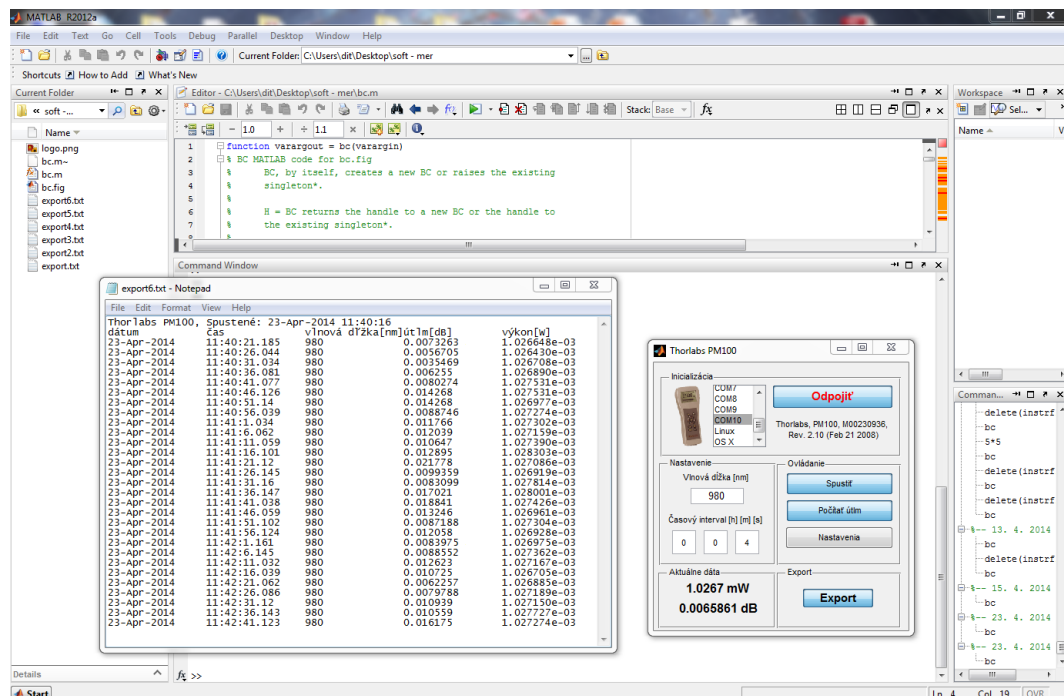
Tabuľka 6.1: *Exportované dáta s časovým intervalom 4 sekundy*

Dátum	Čas	Vlnová dĺžka[nm]	Útlm[dB]	Výkon[W]
23-Apr-2014	11:29:38.705	980	0.0061328	1.027321e-03

Experimentálne overenie navrhnutého systému

23-Apr-2014	11:29:42.636	980	0.0036607	1.027739e-03
23-Apr-2014	11:29:46.6	980	0.0077287	1.027358e-03
23-Apr-2014	11:29:50.657	980	0.0040208	1.027419e-03
23-Apr-2014	11:29:54.575	980	0.0046146	1.027573e-03
23-Apr-2014	11:29:58.639	980	0.0061134	1.027026e-03
23-Apr-2014	11:30:2.6	980	0.00078872	1.026770e-03
23-Apr-2014	11:30:6.662	980	-0.0017042	1.026633e-03
23-Apr-2014	11:30:10.585	980	-0.0030386	1.027506e-03
23-Apr-2014	11:30:14.683	980	0.0054613	1.027203e-03
23-Apr-2014	11:30:18.575	980	0.002512	1.026867e-03
23-Apr-2014	11:30:22.679	980	-0.00075956	1.027326e-03
23-Apr-2014	11:30:26.569	980	0.0037093	1.027329e-03
23-Apr-2014	11:30:30.663	980	0.0037385	1.027378e-03
23-Apr-2014	11:30:34.597	980	0.0042155	1.026920e-03
23-Apr-2014	11:30:38.68	980	-0.00024344	1.026693e-03

Ďalšie výstupy programu do tabuľky s inými intervalmi sú na priloženom CD s ďalšími snímkami a videom z merania. Obrázok 5.2 zobrazuje snímku obrazovky PC počas merania.



Obrázok 5.2: Snímka obrazovky

Záver

Práca si kládla za cieľ zautomatizovať meracie pracovisko, na ktorom by bola možná simulácia starnutia optického vlákna. Pre potreby práce bolo navrhnuté pracovisko, ktoré umožňuje namáhanie vlákna veľkým optickým výkonom. Pracovisko sa skladá zo zdroja optického signálu, merača optického signálu a zosilňovača EDFA, ktorý signál zosilní a následne je tento signál vháňaný do vlákna. Pomocou merača optického signálu sa dá sledovať degradácia vlákna znížením optického výkonu.

Vzhľadom na to, že merací prístroj disponoval komunikačným rozhraním RS-232, bola umožnená automatizácia tohto meracieho systému. Hlavnou zložkou automatizácie bola realizácia komunikačného softvéru s týmto meracím prístrojom. Softvér bol vyvinutý v prostredí MATLAB a grafické prostredie v jeho nástroji GUIDE. Softvér disponuje nastavením špecifickým pre komunikáciu cez RS-232, nastaveniami potrebnými pri meraní optického výkonu a zber dát. Využitie aplikácie nie je obmedzené na daný merací systém, jej uplatnenie je široké vzhľadom na to, že optický výkon a útlm je najdôležitejším prenosovým parametrom v optických komunikáciách.

Pri experimentálnom overení vyvinutého softvéru sa potvrdia jeho funkčnosť aj napriek nutnosti modifikácie navrhnutého meracieho systému.

Problém starnutia optických vlákien nie je v súčasnej dobe dostatočne preskúmaný. Je to predovšetkým faktormi prejavujúcimi sa v horizonte niekoľkých jednotkách až desiatkach rokov. Ďalšie pokračovanie práce vidím v skúmaní tejto oblasti s využitím vyvinutého softvéru a zaťažovaní vlákna pod rôznymi vplyvmi.

Použitá literatura

- [1] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 1. Brno: Miloslav Filka, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] AGRAWAL, G. Fiber-optic communication systems. 4th ed. New York: Wiley, 2010, xvii, 603 p. ISBN 978-047-0505-113.
- [3] MAGDELON, Jozef. *Základy prenosu optickými káblami*. 1. vydanie. Bratislava: Alfa konti, s.r.o., 1996. ISBN 80-88739-25-X.
- [4] JOHN PARK, Steve Mackay. Practical data communications for instrumentation and control. Transferred to digital print. Amsterdam: Elsevier, 2003. ISBN 07-506-5797-9.
- [5] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Sériový port RS-232C. Root.cz [online]. 2008 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/seriovy-port-rs-232c/>
- [6] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Komunikace pomocí sériového portu RS-232C. Root.cz [online]. 2008 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-pomoci-serioveho-portu-rs-232c/>
- [7] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Komunikace pomocí sériového portu RS-232C podruhé. Root.cz [online]. 2008 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-pomoci-serioveho-portu-rs-232c-podruhe/>
- [8] OLMR, Vít. HW server představuje - Sériová linka RS-232. HW.cz [online]. 2005 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html>
- [9] KAINKA, Burkhard. USB. Měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB. 1. vyd. Praha: BEN, 2002, 247 s. ISBN 80-730-0073-3.
- [10] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Komunikační protokol universální sériové sběrnice. Root.cz [online]. 2009 [cit. 2014-02-26]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikacni-protokol-universalni-seriove-sbernice/>
- [11] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Přenos dat po universální sériové sběrnici. Root.cz [online]. 2009 [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/prenos-dat-po-universalni-seriove-sbernici/>
- [12] ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. *MATLAB: tvorba uživatelských aplikací*. 1. vyd. Praha: BEN, 2004, 215 s. ISBN 80-730-0133-0.
- [13] SHAH, Patrik, Long HAN, Ed MURPHY, Steve SCHMID a Daniel PETERSON. Effect of ageing conditions on performance properties of selected commercial fibers [online]. 2011 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.dsm.com/content/dam/dsm/supercoatings/en_US/documents/2011-11-01-effect-of-ageing-conditions-on-performance-properties-of-selected-commercial-fibers.pdf

- [14] THE MATHWORKS. Create serial port object - MATLAB serial. *Mathworks.com* [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/serial.html>
- [15] THE MATHWORKS. Getting Started with Serial I/O - MATLAB & Simulink. *Mathworks.com* [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_external/getting-started-with-serial-i-o.html
- [16] THORLABS INSTRUMENTATION. *Optical Power Meter System: Operation Manual*. 2006.

Prílohy

Súčasťou BP je CD.

Adresárová štruktúra priloženého CD:

```
|——exporty
|——fotografie
|——program_bc_win_unix
|   |——unix
|   |——win
|——snimky_obrazovky
|——video
```